

## **PERUBAHAN MORFOLOGI KALI GARANG - BANJIR KANAL BARAT TANPA BENDUNG SIMONGAN (Pendekatan Model Simulasi BRI-STARS)**

Sutarto Edhisono<sup>1</sup>

*Diterima 23 Juli 2006*

### **ABSTRACT**

*The changing of land-use on the upper Simongan Weir causes the increasing of flood discharge. It was shown during flood that occurred on January 1990, which in that time flood water overtopped of the dikes and caused dikes collapsed in some places and flood was occurred around Simongan area. This research was made because there was a plan to change the Simongan Weir into barrage, in order to make flood water level of the Garang River lower during flood. The crest of the Simongan Fixed Weir would be cutted in 3.7 m height in order to make flood water level lower, and to keep the water level remain the same during normal condition, some gates would be installed above the cutted weir crest as barrages. This situation would change river morphology of the Garang River and West Flood Way. This paper was contained simulation result of the changing of river morphology of the Garang River and West Flood Way without Simongan Weir by using BRI-STARS ( BRIDge Stream Tube model for Alluvial River Simulations ) software. This simulation model generated semi-two dimensional water flows and its sediment which capabled to compute scouring and silting on sub-critical, super critical flows and combination of these both flows conditions .*

**Key words :** *Weir, Barrage, morphology, scouring, siltation.*

### **ABSTRAK**

*Perubahan tataguna tanah di bagian hulu dari Bendung Simongan menyebabkan peningkatan debit banjir. Hal ini terlihat pada banjir yang terjadi pada bulan Januari 1990, dimana pada peristiwa tersebut air banjir melimpas diatas tanggul dan menyebabkan tanggul jebol pada beberapa tempat sehingga banjir terjadi didaerah Simongan. Penelitian ini dibuat sebab ada rencana untuk mengubah Bendung Tetap Simongan menjadi bendung gerak, dengan tujuan untuk menurunkan tinggi muka air banjir Kali Garang saat banjir. Puncak mercu Bendung Simongan akan dipotong setinggi 3,7 m dengan maksud untuk menurunkan muka air banjir, dan untuk mempertahankan muka air dalam kondisi normal, beberapa pintu akan dipasang diatas mercu bendung yang terpotong menjadi bendung gerak (barrage). Situasi ini akan mengubah morfologi sungai Kali Garang dan Banjir Kanal Barat. Makalah ini berisi hasil simulasi dari perubahan morfologi sungai Kali Garang dan Banjir Kanal*

---

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Sipil FT. Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto SH. Tembalang, Semarang  
Email : edhi@sipil.ft.undip.ac.id ; stoerto@hotmail.com

*Barat tanpa Bendung Simongan dengan menggunakan perangkat lunak BRI-STARS (BRIDGE Stream Tube model for Alluvial River Simulations). Model simulasi ini meng-generasikan aliran air semi-dua dimensi dan aliran sedimennya, yang mampu untuk menghitung penggerusan dan pengendapan pada kondisi aliran sub-kritis, super kritis dan kombinasidari kedua kondisi aliran tersebut.*

**Kata kunci :** Bendung tetap (*Weir*), bendung gerak (*Barrage*), morfology, penggerusan, pengendapan.

## PENDAHULUAN

Bendung Simongan merupakan bendung tetap yang dibangun Pemerintah Hindia Belanda di awal abad ke 20 yang terletak ujung Kali Garang yang berfungsi untuk mengatur aliran sungai tersebut ke Kali Semarang dan Banjir Kanal Barat. Seiring dengan perkembangan perubahan tata guna lahan di hulu Kali Garang, terjadi perubahan aliran banjir Kali Garang dan sedimentasi pada sungai tersebut yang cenderung meningkatkan debit banjir dan muka airnya yang dapat menimbulkan bencana. Dalam usaha untuk menurunkan muka air banjir, direncanakan Bendung Simongan ini akan diganti dari yang semula bendung tetap (*weir*) menjadi bendung gerak (*barrage*), dengan memotong mercu bendung tetap setinggi 3,7 meter.

Akibat pemotongan mercu ini akan berpengaruh pada morfologi sungai, pada Kali Garang yang terletak di hulu dari Bendung Simongan dan Banjir Kanal Barat (BKB) di bagian hilirnya. Penelitian ini berisi tentang simulasi perubahan morfologi Kali Garang-Banjir Kanal Barat tanpa Bendung Simongan dengan menggunakan perangkat lunak *BRI-STARS (BRIDGE Stream Tube model for Alluvial River Simulation)*.

Input model simulasi pada penelitian ini menggunakan data-data utama berupa data fraksi sedimen, hidrograf Debit

andalan dua belas tahun, koefisien manning, dan data penampang melintang sungai. Simulasi dimulai pada 20 *time step* untuk uji coba dalam dua kondisi yaitu eksisting (data sedimen tahun 1992) dan kondisi prediksi (data sedimen tahun 1997). Tahap kedua merupakan simulasi untuk prediksi *slope* stabil. Kondisi prediksi *slope* stabil menggunakan data penampang sungai 1997 dan data sedimen tahun 2003. Hidrograf simulasi prediksi *slope* stabil yang digunakan adalah debit andalan tahun 1990-2001. Koefisien Manning yang digunakan besarnya 0,028 (*SMEC*, 2000). Hasil simulasi menunjukkan pada *time step* ke 9000 *slope* dasar sungai mengalami proses kestabilan dengan indikator *slope* datar ( $I=0,000$ ) dan  $Fr < 1$ . Kestabilan terjadi pada kemiringan rata-rata 0,00055. Morfologi Kali Garang mengalami perubahan akibat dihilangkannya Bendung pada sistem sungainya. Perubahan dominan di hulu adalah erosi, ditengah adalah transisi antara erosi dan sedimentasi dan di hilir cenderung terjadi sedimentasi meskipun tidak sebesar di bagian tengah penampang memanjang sungai.

Sehubungan dengan hal tersebut diatas, maka perlu dilakukan prediksi perubahan morfologi Kali Garang dan BKB untuk simulasi pasca Bendung Gerak Simongan dan mencari keseimbangan dasar sungai Kali Garang tanpa Bendung Simongan.

### MODEL SIMULASI BRI-STARS

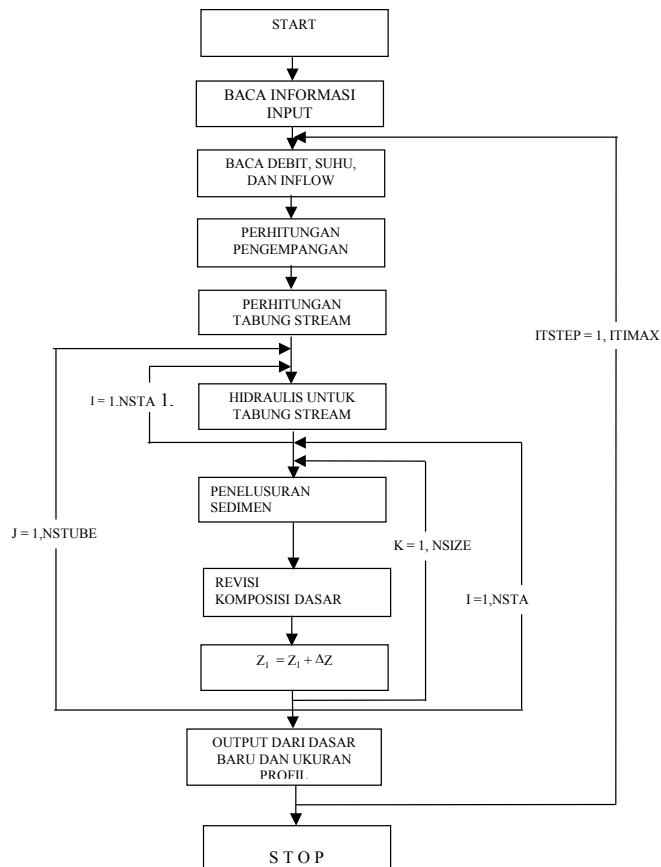
Komponen utama yang pertama dari BRI-STARS adalah berdasar dari suatu model komputer *stream tube* dengan saluran dengan lebar tetap yang dikembangkan oleh *Molinas* (1983) untuk mensimulasikan variasi dasar aliran di sungai untuk keadaan dimana data sedimen dan hidraulik terbatas. Obyek dari model ini adalah untuk meneliti problem sedimentasi yang sulit untuk dimana ada interaksi diantara aliran campuran air dan sedimen sungai alluvial.

Program komputer BRI-STARS adalah program semi 2 dimensi dengan

dimensi ketiga, kedalaman, termasuk dalam perhitungan. Program ini dapat digunakan untuk perhitungan model dasar tetap, untuk menghitung profil muka air untuk keadaan sub-kritis, super-kritis, atau kombinasi dari ke dua kondisi aliran yang mengakibatkan loncatan hidraulis.

Model komputer ini mengacu pada tabung *stream* (*Molinas*, 1983b, 1986; *Molinas*, *Denzel*, dan *Yang*, 1986) untuk penelusuran air dan sedimen, terdiri dari 3 komponen utama, yaitu :

- 1) perhitungan pengempangan
- 2) perhitungan tabung *stream*, dan
- 3) perhitungan penelusuran sedimen.



Gambar 1. Bagan Alir Model komputer : *Stream Tube*.

## METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian digambarkan sebagai bagan alir seperti Gambar 2.

Input Model Simulasi :

- Penampang melintang sungai yang terdiri dari 19 segmen (data tahun 1997)
- Data hidrograf debit dominan (1997)
- Data material sedimen tahun 2003, fraksi sedimen yang dimasukkan adalah 8 Fraksi
- Time step yang digunakan pada simulasi kondisi ini adalah bertahap dari 20, 100, 200, hingga mencapai 8000. Namun hasil yang disajikan adalah yang optimal sesuai metodologi penelitian
- Koefisien kekasaran Manning yang digunakan  $n = 0,028$  untuk kondisi aktual Kali Garang (SMEC,1996).

Data lain sifatnya kontrol untuk outputnya.

## PELAKSANAAN PENELITIAN DAN ANALISIS

### Perhitungan Pengempangan

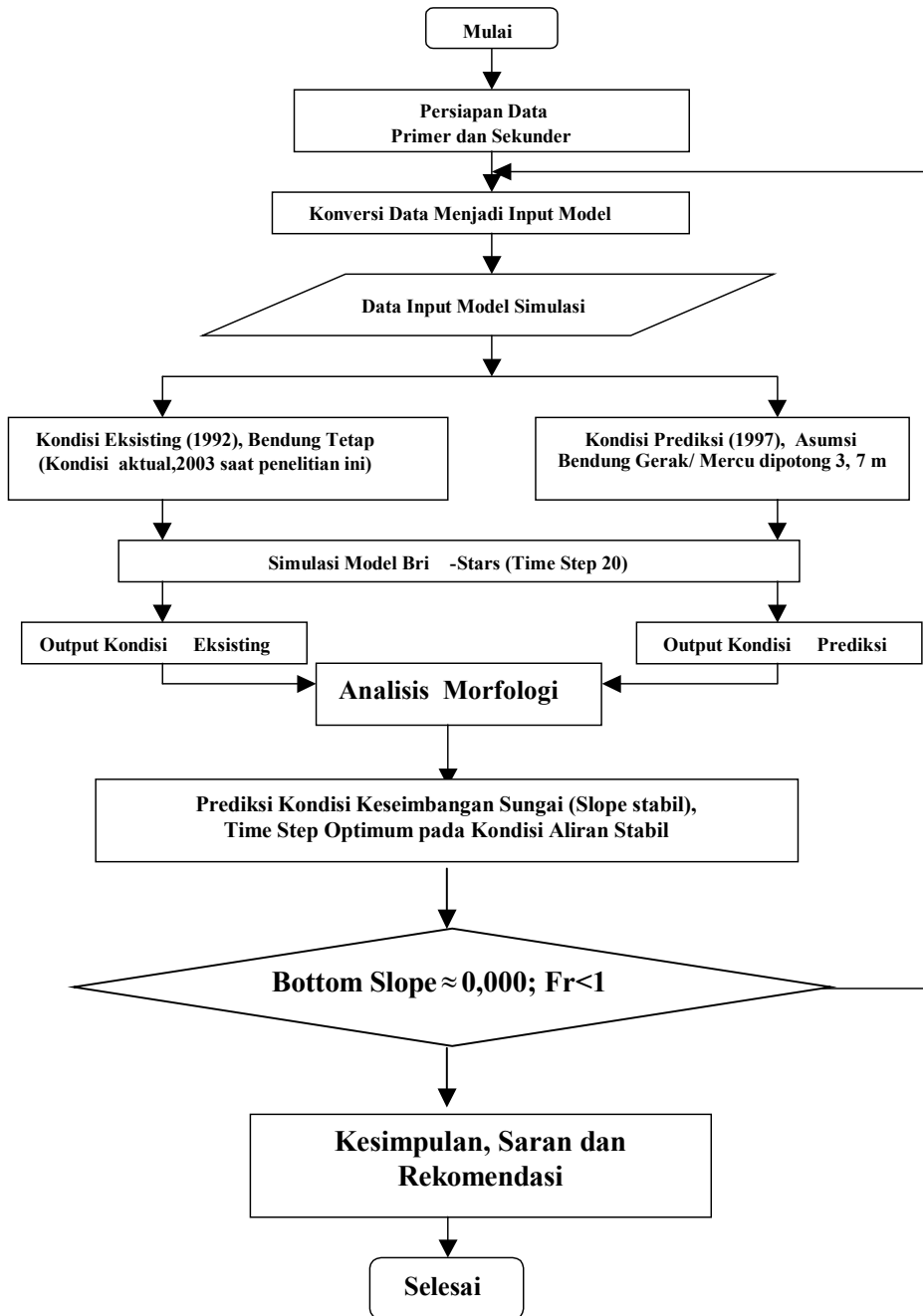
Hidrograf debit air oleh sebab debit konstan terlihat sebagai Gambar 3. Selama tiap blok waktu debit konstan, perhitungan pengempangan dilakukan tanpa gangguan untuk sub-kritis, super-kritis, atau kombinasi dari kedua kondisi aliran pada loncatan hidraulis. Pendekatan dasar untuk memecahkan persamaan energi adalah dengan metoda tahapan standard (*standard step method*). Persamaan momentum dipakai bilamana dan dimana ada perubahan aliran dari super-kritis ke sub-kritis dengan kemungkinan terjadinya loncatan hidraulis.

### Perhitungan Tabung Stream

Pada model, debit total pada saluran di-distribusikan sama dengan jumlah tabung *stream* yang telah dipilih sebelumnya. Pada setiap tabung *stream*, debit air dipertahankan konstan. Tidak ada *inflow lateral* pada tabung *stream* dari tabung sebelah diperkenankan. Berkenaan dengan asumsi pada stasiun yang diambil, elevasi muka air pada saluran dipertahankan konstan. Pada keadaan ini, pada lokasi debit yang sama, dan sehingga lokasi tabung *stream* lateral, berhubungan pada saluran pembawa yang sama. Untuk mengerjakan ini, potongan melintang saluran dibagi menjadi 10 dengan lebar yang sama. Pengangkutan dari tiap tabung stream ditentukan dengan membagi jumlah total tabung *stream* yang telah dipilih sebelumnya. Lokasi dari tiap tabung *stream* dapat ditentukan kemudian.

Tabel 1. Perubahan Elevasi Dasar Sungai Simulasi Prediksi *Slope* Stabil Tiap 400 *Time Stepnya* (Maksimum 4000 *Time Step*)

No	Asli		Diskritisasi	
	Q simulasi cuFt/sec	H simulasi ft	Q simulasi cuFt/sec	H simulasi ft
1	946	33.0	1000	33.04
2	2336	37.4	2338	37.40
3			2338	37.40
4			2338	37.40
5	3136	38.7	3136	38.71
6	2511	37.7	2511	37.68
7	3313	39.0	3313	39.04
8	3281	39.0	3281	39.04
9	2797	38.2	2797	38.22
10	3567	39.4	3567	39.37
11	4662	40.7	4662	40.68
12	2938	38.4	2938	38.39
13	2853	38.2	2853	38.22
14	3920	39.8	3920	39.80
15	3249	38.9	3249	38.88
16	2339	37.2	2338	37.24
17		35.8	1642	35.76
18		35.8	1642	35.76
19	1642	35.8	1642	35.76
20	1042	33.5	1042	33.50



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

### Perhitungan Penelusuran Sedimen

Perhitungan penelusuran sedimen pada tiap tabung *stream* digambarkan dengan persamaan kontinuitas sedimen yang diberikan sebagai berikut :

$$\frac{\partial Q_s}{\partial x} + n \frac{\partial A_d}{\partial t} + \frac{\partial A_s}{\partial t} - q_s = 0 \dots (1)$$

dimana :

$n$  = volume sedimen pada suatu unit volume lapisan dasar atau 1 minus porositas. Pada program ini,  $n$  diset sama dengan yang nilai yang umum dipakai yaitu 0,6. Khusus untuk Kali Garang nilainya sekitar 0,028 - 0,022

$A_d$  = volume sedimen melayang pada potongan melintang per unit lebar.

$Q_s$  = volume debit sedimen, dan

$Q_s$  = inflow sedimen lateral.

### Persamaan Transportasi Sedimen

Sedimen di sungai alam terjadi dengan bentuk campuran yang tidak seragam. Berdasar pada pertimbangan umum, perhitungan transportasi sedimen material dasar yang termasuk dalam BRI-STARS adalah :

1. Persamaan pasir halus : *Yang, Molinas, dan Wu (1996)*.
2. Persamaan Pasir : *Engelund Hansen (1972), Ackers and White (1972), Yang (1973)*.

3. *Persamaan gravel : Meyer-Peter dan Muller (1948), Yang (1984)*

4. *Persamaan yang disuplai : Persamaan regresi*

5. Persamaan muatan material dasar

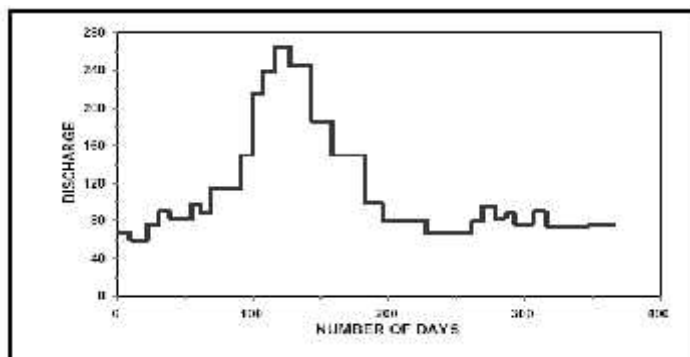
Hasil penelitian dengan model simulasi tersebut dapat terlihat pada gambar-gambar berikut :

Hidrograf debit air oleh sebab debit konstan diperlihatkan pada Gambar 3. Selama tiap blok waktu debit konstan, perhitungan pengempangan dilakukan tanpa gangguan untuk sub-kritis, super kritis, atau kombinasi dari kedua kondisi aliran dan loncatan hidrolis.

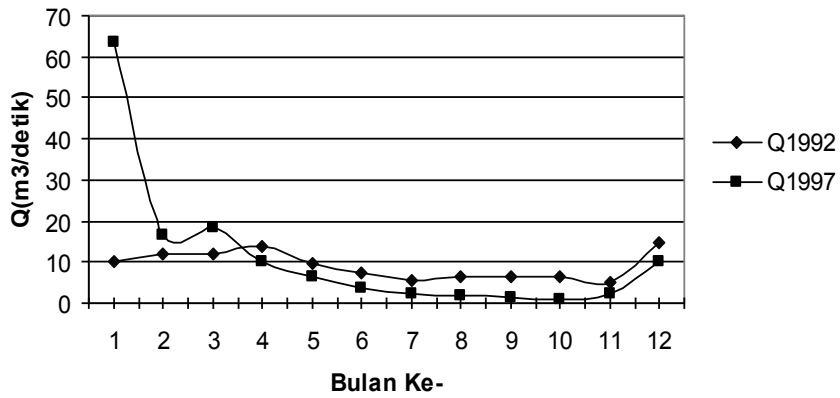
Data debit untuk obyek simulasi yang diperoleh adalah data debit harian pada tahun 1992 dan 1997. Data tersebut dipilih sebagaimana data simulasi untuk kondisi eksisting (tahun 1992) dan kondisi prediksi (tahun 1997). Data debit yang dipakai merupakan data debit harian setahun yang diperoleh dari STA Panjangan dengan mengasumsikan muka air referensinya analog dengan debit yang limpas dari Bendung Simongan.

Hidrograf simulasi dari data debit Kali Garang tahun 1992 dan tahun 1997, terlihat pada Gambar 4.

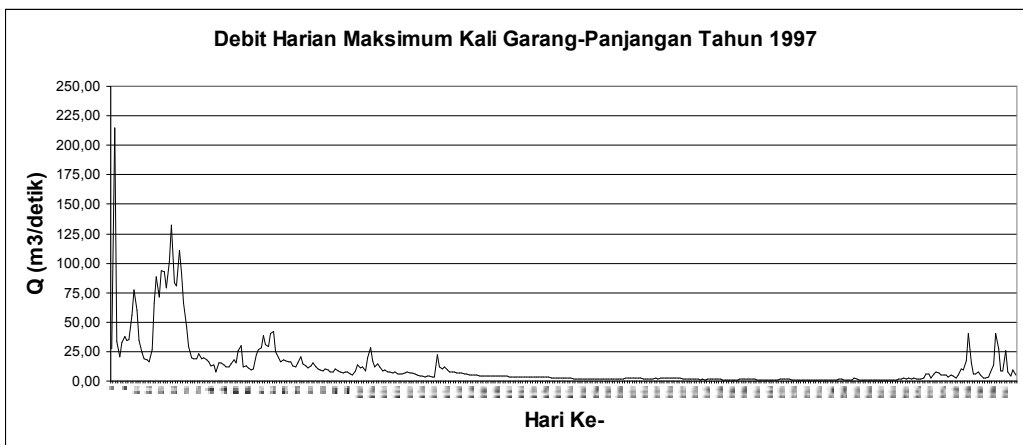
Untuk simulasi Tahap 3 digunakan debit Harian maksimum Kali Garang Tahun 1997, seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 3. Hidrograf debit air oleh sebab debit konstan



Gambar 4. Hidrograf Simulasi Tahun 1992 dan Tahun 1997. Simulasi Tahap 1 dan Tahap 2

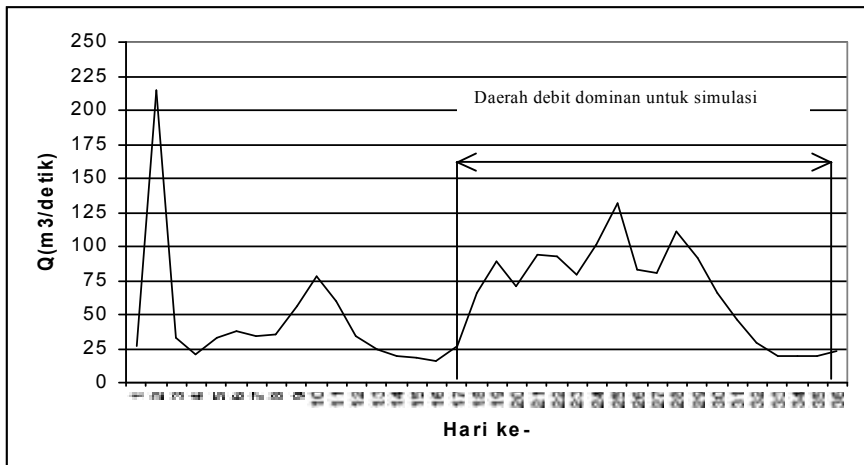


Gambar 5. Hidrograf Harian Maksimum Kali Garang Tahun 1997 (Simulasi Tahap 3)

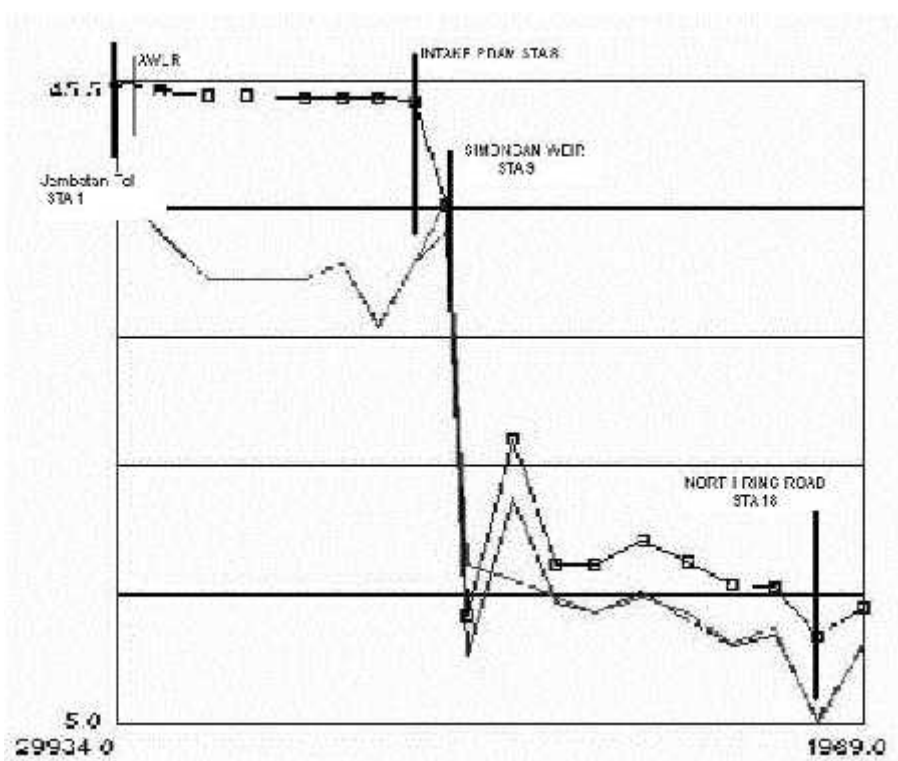
Dari data debit harian maksimum Kali Garang Tahun 1997, dipilih debit harian dominan Kali Garang yang digunakan untuk simulasi seperti terlihat pada Gambar 6.

Hasil simulasi potongan memanjang sungai kondisi eksisting terlihat pada Gambar 7.

Elevasi dasar sungai mengalami perubahan agradasi maksimal 0,02 m dan degradasi relatif sangat kecil atau dapat diabaikan.



Gambar 6. Debit Harian Dominan Kali Garang Tahun 1997



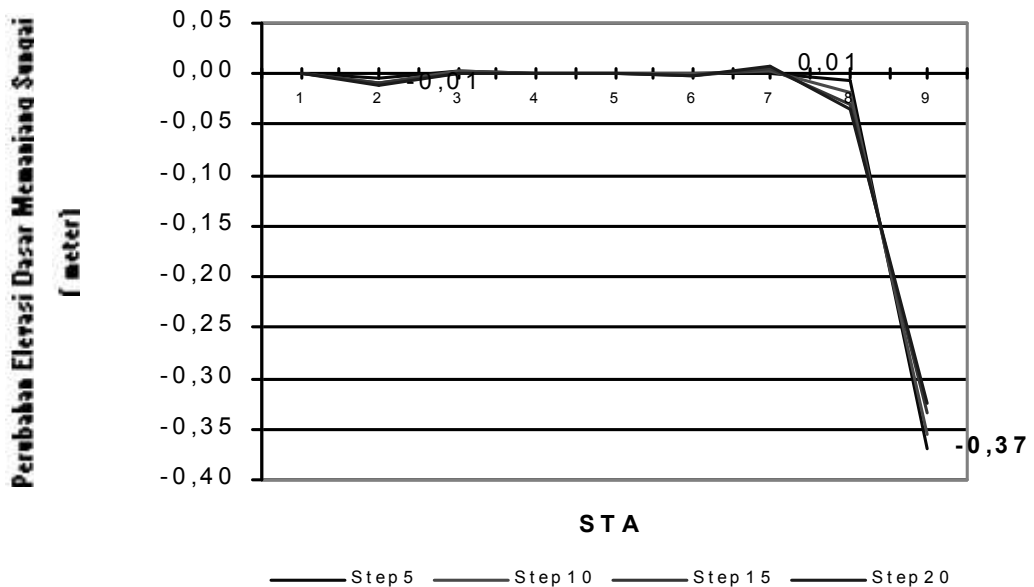
Gambar 7. Hasil Simulasi Tahap 1 dan 2 (Perubahan Awal Potongan Memanjang), Kondisi EKSTING

Hasil Model Simulasi pada kondisi akhir atau Kondisi Prediksi, elevasi dasar sungai mengalami perubahan degradasi maksimal 0,01 meter dan agradasi yang relatif kecil atau dapat diabaikan.

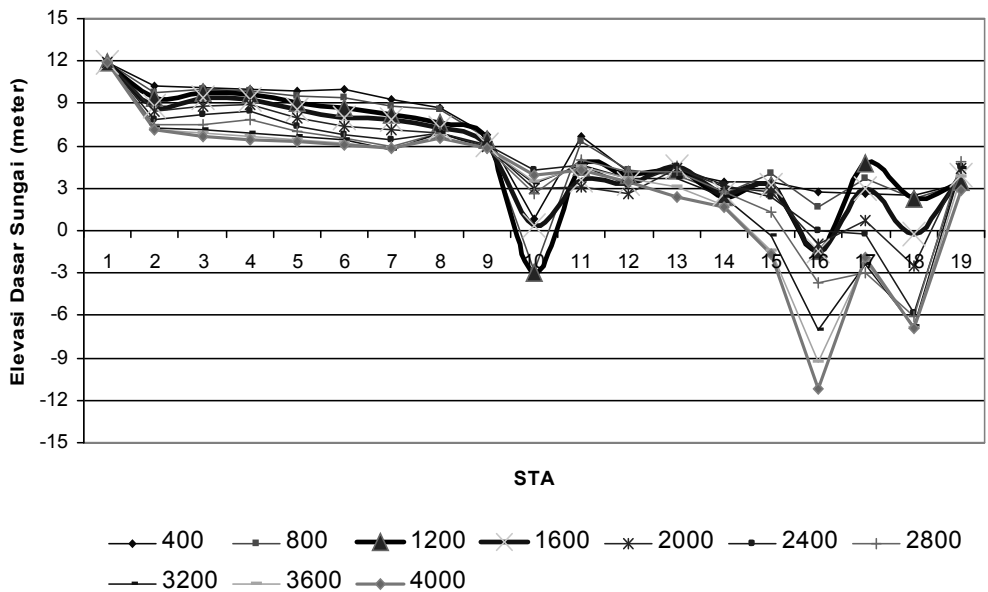
Namun apabila dibandingkan dengan kondisi eksisting (simulasi Tahun 1992) dengan kondisi prediksi (simulasi Tahun 1997), maka perbedaannya cukup signifikan. Dengan model simulasi 20 *Time Step*, agradasi yang terjadi adalah 0,01 meter dan degradasi dasar sungai terbesar adalah 0,37 meter.

Perubahan Elevasi dasar sungai 1992 – 1997 dengan 20 *Time Step* kondisi Prediksi terlihat pada Gambar 8.

Dari simulasi dengan berbagai *Time Step* tersebut diperoleh hasil elevasi dasar sungai Kali Garang yang bervariasi. Degradasi dasar sungai yang relatif besar terjadi pada STA hilir seperti STA 14, 16 dan 18. Penumpukan sedimen terjadi pada STA 12, 13, 17 dan 19. Hampir seluruh STA Hulu (STA 1 sampai 9) cenderung tererosi karena beda energi yang relatif besar akibat endapan saat ada bendung. Hasil simulasi tersebut terlihat pada Gambar 9.



Gambar 8. Perubahan Elevasi Dasar Sungai 1992-1997 (Hasil Model Simulasi (20 *Time Step*)), Kondisi PREDIKSI



Gambar 9. Perubahan Elevasi Dasar Sungai (Simulasi Prediksi *Slope* Stabil), Tiap 400 *Time Step*-nya (Maksimum 4000 *Time Step*)

Berdasarkan hasil simulasi dan perhitungan maka ditentukan slope stabil berdasarkan 2 komponen syarat utama yaitu slope rata-ratanya mendekati nol dan alirannya stabil berdasarkan Froude Number-nya ( $Fr < 1$ ).

Slope akhir stabil terjadi pada 0,000929 atau 9 : 10.000. Hasil Prediksi Slope dari hasil simulasi dengan berbagai *Time Step* terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. *Slope* Prediksi Hasil Perhitungan (Analitis Pasca Simulasi)

STA	Slope Dasar Sungai									
	TS 400	TS 800	TS1200	TS 1600	TS 2000	TS 2400	TS 2800	TS 3200	TS 3600	TS 4000
9124	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
8609	0,003268	0,004079	0,004908	0,005879	0,006755	0,007839	0,008478	0,008917	0,009130	0,009325
8053	0,000132	-0,000362	-0,000658	-0,000877	-0,000817	-0,000674	0,000137	0,000373	0,000598	0,000746
7626	0,000278	0,000164	0,000193	0,000143	-0,000164	-0,000506	-0,000942	0,000314	0,000435	0,000464
6960	0,000197	0,000586	0,000829	0,001145	0,001406	0,001580	0,001328	0,000485	0,000412	0,000311
6524	-0,000321	0,000384	0,000804	0,001363	0,001495	0,001342	0,000915	0,000524	0,000370	0,000356
6126	0,001807	0,001294	0,001256	0,000329	0,000513	0,000835	0,001593	0,001700	0,001141	0,000819
5725	0,001452	0,000730	0,001468	0,001475	0,000479	-0,000981	-0,002456	-0,002844	-0,002152	-0,001817
5350	0,005130	0,005398	0,003358	0,003000	0,002659	0,002073	0,002878	0,002634	0,002073	0,001772
5100	0,023776	0,037296	0,037247	0,022728	0,011888	0,007150	0,013021	0,010195	0,009635	0,007564
4600	-0,011646	-0,018201	-0,014854	-0,006305	-0,000305	-0,000780	-0,004939	-0,002683	-0,002171	-0,000665
4100	0,004948	0,004046	0,001097	0,000475	0,001103	0,002992	0,001859	0,002029	0,001773	0,001633
3650	0,000020	0,000820	-0,000833	-0,002771	-0,004160	-0,002954	-0,000142	-0,000068	0,001206	0,002358
3100	0,001231	0,002428	0,003636	0,003614	0,002467	0,002278	0,002639	0,002478	0,002489	0,001341
2600	0,000055	-0,002901	-0,001877	-0,001182	0,000804	0,001804	0,002913	0,005332	0,006338	0,006691
2100	0,0001518	0,004640	0,009494	0,009073	0,007256	0,004634	0,009939	0,013274	0,015707	0,019152
1600	0,000195	-0,004040	-0,012511	-0,008739	-0,003339	0,000658	-0,001389	-0,009263	-0,014168	-0,018617
1100	0,000274	0,003012	0,005067	0,006360	0,006579	0,011043	0,006079	0,008817	0,009341	0,009970
600	-0,001591	-0,002232	-0,002439	-0,008280	-0,013915	-0,020689	-0,021957	-0,022256	-0,021457	-0,019640
Rerata	0,001617	0,001955	0,001904	0,001444	0,001090	0,000929	0,001050	0,001050	0,001089	0,001145

## KESIMPULAN

1. Pada *time step* antara 1200 dan 1600 terjadi proses kestabilan dasar sungai. Selain itu aliran yang terjadi pada saat itu dari STA 1 sampai 16 adalah sub kritis. Pada STA 17 sampai 19 masih terjadi aliran kritis karena terjadi loncatan hidraulik.
2. *Slope* stabil pada simulasi prediksinya terjadi antara 0,001444 dan 0,001904. Rata-rata *slope* stabil pada *time step* maksimum (4000 *time step*) adalah sebesar 0,001327
3. Elevasi di rencana Bendung Gerak Simongan hasil simulasi model *BRI-STARS* adalah - 3,27 dari elevasi mercu atau dengan kata lain lebih tinggi 0,43 meter dari elevasi yang direncanakan *JICA* tahun 1997.

## DAFTAR PUSTAKA

Carollo, F.G. et al, *Flow Velocity Measurement in Vegetated Channels*, Journal of Hydraulic Engineering, July 2002 pages 664-673.

Goodman, Alvin S., *Principles of Water Resources Planning*, Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1984.

Guo, Qing-Chao, et al, *Modelling Nonuniform Suspended Sediment Transport in Alluvial Rivers*, Journal of Hydraulic Engineering, September 2002, Pages 839-847.

Jansen, PPh. Et al, *Principles of River Engineering*, Pitman, London, 1979.

JICA Study Team, *The Detailed Design of Flood Control, Urban Drainage and Water*

*Resources Development in Semarang in the Republic of Indonesia*, JICA – Japan, August 2000.

Kodoatie, Robert J., 1999. *Sediment transport relations in Alluvial Channels*, Ph.D. Disertation, Colorado State University, Co., USA, 1999.

Molinas, Albert, 2000. *User's Manual for BRI-STARS (BRIDGE Stream Tube model for Alluvial River Simulation)*, Publication No. FHWA-RD-99-190, Federal Highway Administration, Virginia, USA.

Molinas, Albert, 2000. *User's Primer for BRI-STARS*, Publication No. FHWA-RD-99-191, Federal Highway Administration, Virginia, USA.

Perlin, Alexander, et al, *Apparent Roughness in Wave-Current Flow Implication for Coastal Studies*, Journal of Hydraulic Engineering, August 2002, Pages 729-741.

Shabayek, Shazy et al, *Dynamic Model for Subcritical Combining Flows in Channel Junctions*, Journal of Hydraulic Engineering, September 2002, Pages 821-828

Sharp, J. J., 1981. *Hydraulic Modelling*, Butterworths, London – England, 1981.

Syafrudin, *Model Numerik angkutan ion khlorida di perairan estuari dengan pembaganan Abbott-Ionescu*, Quickest dan Upwind, Tesis Magister, ITB, 1997.

Roberson, Cassidy, Chaudhry, 1988. *Hydraulic Engineering*, Houghton Mifflin Company, Boston – USA, 1988.

Vreugdenhil, 1994. *Numerical Methods for Shallow-Water Flow*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht – the Netherlands, 1994.